

土地利用・地質構造が異なる流域の 河川水質特性の比較 —札内川流域と石川流域—

長谷部正彦¹・加藤友美²・糸川高徳³・平田健正⁴
井伊博行⁵・江種伸之⁶・坂本康⁷

¹正会員 工博 宇都宮大学教授 工学部建設学科 (〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2)

²学生会員 宇都宮大学工学研究科 (〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2)

³正会員 工修 宇都宮工業高校 (〒320-8558 宇都宮市京町 9-25)

⁴正会員 工博 和歌山大学教授 システム工学部 (〒640-8510 和歌山市栄谷 930)

⁵正会員 博(理) 和歌山大学教授 システム工学部 (〒640-8510 和歌山市栄谷 930)

⁶正会員 博(工) 和歌山大学講師 システム工学部 (〒640-8510 和歌山市栄谷 930)

⁷正会員 工博 山梨大学助教授 工学部土木環境工学科 (〒400-8511 甲府市武田 4-3-11)

BOD 指標の第 1 位の清流な河川である札内川（平成 7 年度）と BOD 指標ワースト 1 の大和川（平成 7 年度）の支流石川について、土地利用特性を考慮して河川水質の比較を行った。その結果、札内川では中流域の農地において河川水は硝酸イオンに富んでいた。硝酸イオンの単位面積負荷量は札内川の方が高い値を示し、施肥等の影響が強いものと考えられる。また、流域人口の違いは塩素イオン濃度に大きな影響を与えることが分かった。酸素・水素同位体比より札内川の方が蒸発速度の速い気団が供給源となっていることが推定された。さらに、両流域の比較によって酸素同位体比の緯度効果が確認された。

Key Words : runoff ratio, land use, stable isotope ratio, $\delta^{18}\text{O}$, δD , $\delta^{34}\text{S}$

1.はじめに

河川流域における水管理上重要なことの一つに、河川水に影響を与えている要因を調べ、水循環系を明らかにすることである。河川水は主に降雨から土壤系を経て、河川水となって流下するが、その水質は降雨の化学的成分・地表の被覆や利用（人為的活動）及び地質的要因に大きく影響を受けている。水循環を明らかにすることは、こうした活動を基本とし、河川水質から得られる情報を指標として、複合的な影響を解明することになる。このような水質、地質及び土地利用形態の特性もとにし、さらに河川水量を加味することにより、流域における水循環機構が解明されると考えられる。

著者らは、大和川水系石川流域(流域面積：220km²)において、一般水質と安定同位体元素の分析を行ってきた。その結果、河川水質の特性として、地質成因に基づいて水質が大まかには決まってくるが、人口増加等による人

為的活動が顕著な場合には、この活動の影響が大きいことがわかった^{1), 2), 3)}。

本研究では、河川流域が土地利用形態の住宅等の影響が少ない流域と思われる BOD 指標の第 1 位の清流な河川である札内川（平成 7 年度）と BOD 指標ワースト 1 の大和川（平成 7 年度）の支流石川について、その水質・水量特性を調査分析する事により、両河川の水質特性を比較する。これらの相反するような性質を持つ両河川を調査し、比較検討することは、将来の普遍的な流域管理モデル作成の基礎となると考えられる。すなわち、両河川の流出と水質特性との各要素についての相違を把握する事から、河川の水循環機構に与える影響の相違が明らかとなり、これらの情報は流域管理上有益となってくれると思われる。

表-1 札内川流域と石川流域の比較

	札内川	石川
流域面積(km ²)	725	220
流路延長(km)	82	34.5
流域人口(人)	37,855	472,000
年平均流量 (m ³ /sec)	29.8	5.5
年降水量 (mm/year)	1300(中札内)	1650(滝畠ダム)
地形	最大標高1000mの山地～標高150m以下の平地	最大標高2000mの山地～標高150m以下の平地
土地利用	山地 森林(70%) 平地 畑地・牧草地(25%) 住宅地(5%)	山地 森林(65%) 平地 畑地(7%) 水田(13%) 住宅地(15%)
地質	古期堆積岩、花崗岩、沖積層、洪積層	古期堆積岩、花崗岩、沖積層、洪積層

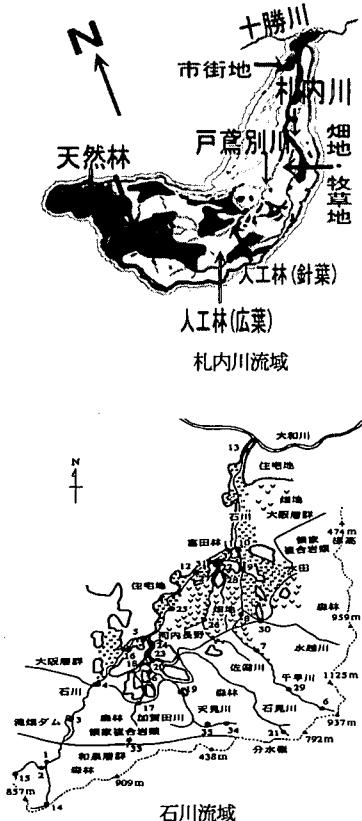


図-1 流域概要図

2. 水文量と土地利用・地質の比較

(1) 両河川流域内の土地利用形態及び地質構造の比較

石川は大和川の支流で流路延長が 34.5km, 流域面積 220km² の南大阪最大の河川である。土地利用形態としては、平野部には主に住宅地、水田、畑地が見られ、山地は主に針葉樹からなる森林地帯となっている。近年宅地化が進んでいる河内長野市の南側にある石川本川に加賀田川、天見川、石見川が合流している。河内長野から下流では、千早川、佐備川、水越川が合流し、上流から下流に向かって森林、水田、畑地、住宅地と土地利用の形態は変化する。地質構造としては、南側から固結した泥岩、砂岩、礫岩からなる和泉層群、花崗岩類と变成岩類からなる領家複合岩類、未固結の泥岩と砂岩からなる大阪層群が見られ、山地には和泉層群と領家複合岩類が、平野部には大阪層群が分布する。

札内川は十勝川の支流で日高山系に源を発し、戸蔵別川と合流し、流路延長 82km、流域面積 725km² の河川である。この河川は河床勾配がきつく、上流域は広葉樹・針葉樹からなる森林地帯、中流域は畑地・牧草地、下流域では市街地となり帯広市で十勝川に合流する。流域内

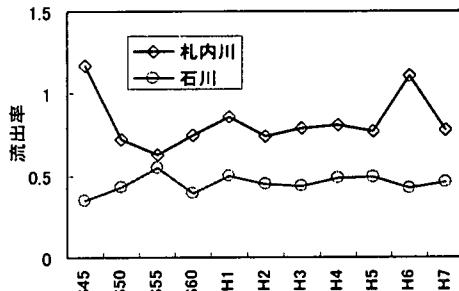


図-2 年流出率経年変化

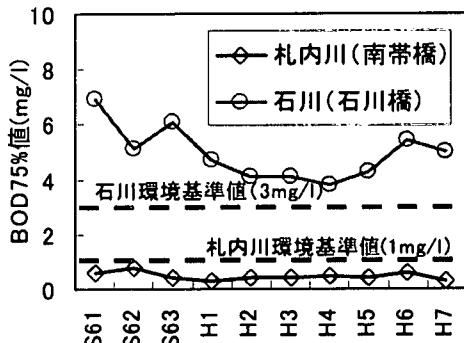


図-3 BOD75%値経年変化

の地質は上流部の森林地帯では主に、变成岩、斑レイ岩、ジュラ紀層からなり、中流域から下流域では洪積層が主である。十勝川水系札内川流域と大和川水系石川流域の流域概要を図-1 に、水文量、土地利用形態、地質構造の比較を表-1 に示す。流域人口、年平均流量に差が見られるが、地質条件、降水量は比較的似ている。両流域ともに山地には古期堆積岩、花崗岩が分布し、平地には沖積層および洪積層が分布する。土地利用形態としては両流域とも山地は森林地帯となっており、平地は札内川では

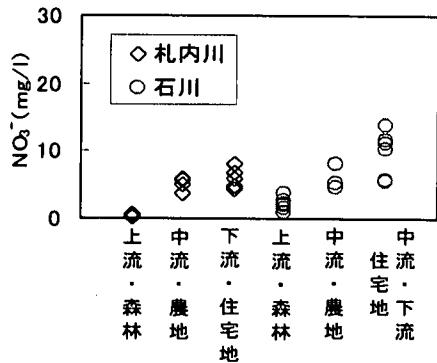


図-4 硝酸イオン濃度と土地利用の関係

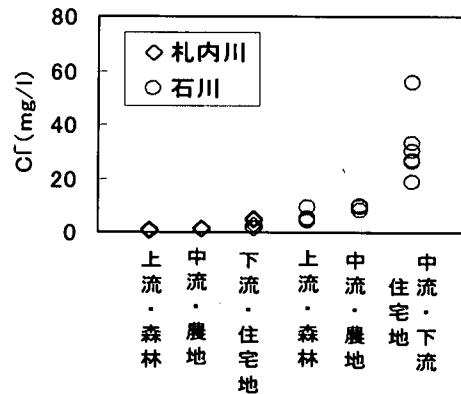


図-6 塩素イオン濃度と土地利用の関係

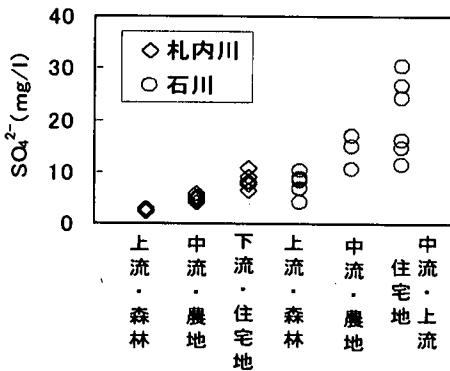


図-5 硫酸イオン濃度と土地利用の関係

畑地・牧草地が主体で、石川では住宅地、畑地、水田に利用されている。また、下水道普及率は札内川流域で約80%，石川流域で約30%である。

(2) 流出率の比較

図-2に札内川と石川の昭和45年から平成7年までの年流出率経年変化を示す。昭和45年から昭和60年までは5年ごとの経年変化である。札内川の流出率は、石川に比べ全体的に高い値を示す。流出率が1.0以上である理由としては、この河川流域では融雪の影響が大きいことが原因と推定される。一方、石川の流出率は0.5前後であり札内川と比較すると低い値である。

(3) 生物化学的酸素要求量(BOD)の比較

札内川と石川の昭和60年度から平成7年度のBOD75%値の経年変化を図-3に示す。札内川はほぼ0.5mg/l以下と環境基準値を超えることがなく、平成7年度は清流ベスト1になっている。一方、石川は、少しづつ値が低くなっているが改善されつつあるが、環境基準値を達成しておらず平成7年度には、大和川はBOD指標ワースト1になっている。

3. 現地観測の概要

現地観測は両流域とも無降雨時で、石川は1998年8月4~6日、札内川は1998年8月26~28日に行った。流況を述べると石川では、観測前の淹畠地点の日降雨量で7月11日；35mm, 15日；22mm, 16日；49mm, 19日；14mm, 26日；15mmであり、7月の総降雨量は145mmである。なお、1996~1998年の3年間の7月平均月雨量は192mmである。札内川では、帶広地点の日降雨量で8月16日；60mm, 20日；9.5mmであり、観測前までの総降雨量は82mmである。なお、28日は109mmの降水があり観測は行なわなかった。過去3年間の8月平均月雨量は196mmである。水質は、石川30地点、札内川18地点でpHと電気伝導度は現地で測定し、水質濃度溶存成分と安定同位体比分析用試料の採水を行った。

4. 土地利用形態と各種イオン濃度との関係

(1) 硝酸イオン濃度

札内川と石川の硝酸イオン濃度と土地利用の関係を図-4に示す。札内川の観測結果から、札内川の上流域に位置する森林地帯は、0.5mg/l以下と低く、降水中に含まれる濃度とほぼ同じである。しかし、中流域の農地から下流域の住宅地にかけて濃度は5mg/l以上と10倍以上も増加し、石川の最下流域とほぼ同じ濃度になっている。石川の最上流域の濃度は約1.5mg/lと札内川上流域に比べて高い。また、中流域の農地、下流域の住宅地と流下するに従い濃度は高くなる。札内川は、上流部は非常に濃度が低いが、平地では石川と変わらない濃度である。これは、畑地から肥料起源の硝酸イオンが溶出していることが原因であると考えられる。

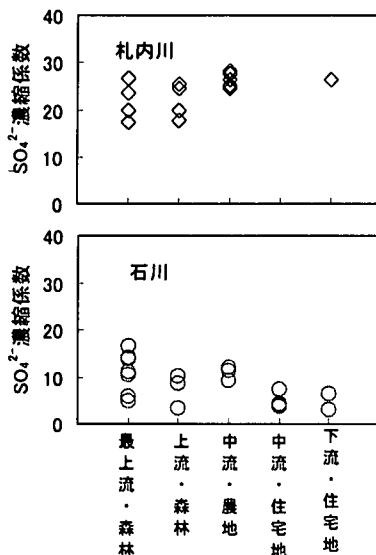


図-7 硫酸イオン濃縮係数

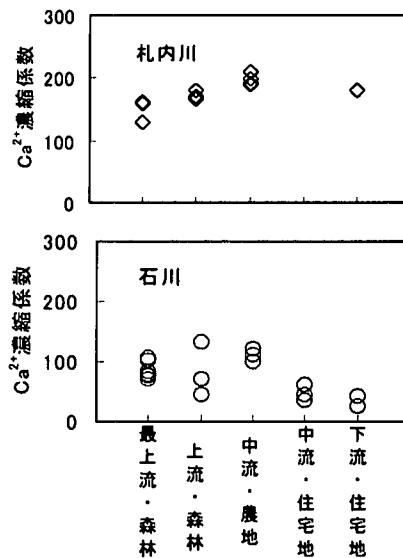


図-8 カルシウムイオンの濃縮係数

表-2 札内川と石川のイオン濃度と負荷量の比較

	札内川	石川
塩素イオン濃度(mg/l)	1.4	48.2
リンイオン濃度(mg/l)	0.0098	0.25
硝酸イオン濃度(mg/l)	7.3	8.2
硫酸イオン濃度(mg/l)	5.4	33.9
塩素イオン負荷量(t/年/km ²)	1.8	38.8
リンイオン負荷量(t/年/km ²)	0.013	0.2
硫酸イオン負荷量(t/年/km ²)	7	27.3

(2) 硫酸イオン濃度

札内川と石川の硫酸イオン濃度と土地利用の関係をも図-5に示す。札内川の森林地帯の上流部は、約2.5mg/l以下と低く、降水中に含まれる濃度とほぼ同じである。しかし、中流から下流の平地では4mg/lから7mg/lと増加している。石川は、最上流部でも4mg/lから16mg/lと札内川上流に比べて高い。石川では後に述べるδ³⁴Sの結果より地層から硫黄が供給されていることが推察された。硫酸イオン濃度は森林地帯から農地、住宅地と流下するに従い値が増加していく。

(3) 塩素イオン濃度

札内川と石川の塩素イオン濃度と土地利用の関係を図-6に示す。札内川は上流域の森林地帯で約1mg/l以下であり、下流域でも5mg/lと全体的に濃度が低い。一方、石川では下流域の住宅地における濃度が非常に高い。したがって、土地利用・人口の違いは塩素イオン濃度に大きな影響を与え、畠地からの影響は硝酸イオンに比べ少ないと考えられる。

(4) 負荷量

札内川（南帶橋地点）と石川（石川橋地点）の年間平均流量を考慮した年間単位面積負荷量を計算した結果を表-2に示す。札内川の硝酸イオン負荷量は石川より大きな値を示す。これは、札内川では畠地からの硝酸イオンの負荷が大きいと考えられる。逆に、硫酸イオン負荷量は、石川の方が約4倍高い。これは、畠地と住宅地の土地利用の違いによる年間の硫酸イオン排出量の大小によるものと考えられる。塩素イオン負荷量は石川の方が20倍以上も値が高い。これは、流域人口の違いによるものと考えられ、人为的排水の影響が反映されていると思われる。リンイオン負荷量も約15倍石川の方が高く、塩素イオン及び硫酸イオン同様、流域人口の違いが大きく反映されていると思われる。

5. 濃縮係数

濃縮係数とは、試料中の塩素イオンが海水起源と仮定した時、試料中の溶存イオン濃度が海水に比べてどの程度濃縮されているかを判断する指標である⁴⁾。

$$\text{イオン M の濃縮係数} = \frac{(\text{M}/\text{Cl})_{\text{sample}}}{(\text{M}/\text{Cl})_{\text{sea water}}} \quad (1)$$

ここに、 $(\text{M}/\text{Cl})_{\text{sample}}$ は試料中のイオン M と塩素イオンの等量比、 $(\text{M}/\text{Cl})_{\text{sea water}}$ は海水中のイオン M と塩素イオンの等量比である。その物質が海水起源であると、濃縮係数は1に近い値になる。濃縮係数が1から離れると海

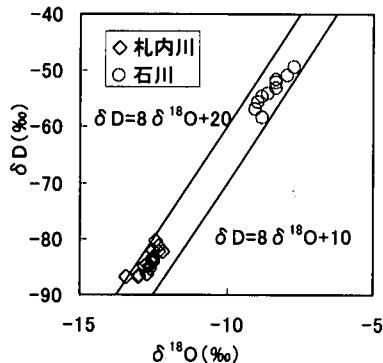


図-9 酸素同位体比と水素同位体比の関係

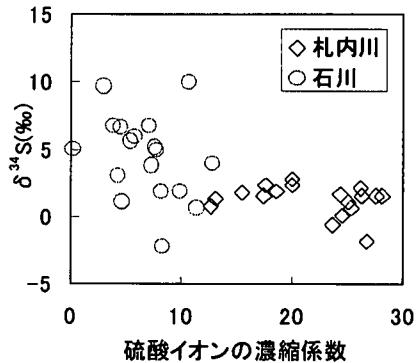


図-10 硫黄同位体比と硫黄イオン濃縮係数の関係

水以外の影響が大きくなることを示す。図-7に札内川と石川の硫酸イオンの濃縮係数を示す。札内川では上流部の森林から下流部の住宅地まで値の変動は小さい。石川は全体としては下流ほど値は小さくなっている。しかし、わずかに中流域の農地において高くなっている。この理由としては、石川の中流域では農地による施肥等の影響によると思われる。図-8に札内川と石川のカルシウムイオンの濃縮係数を示す。カルシウムイオンの降水中の濃縮係数は約40と報告されている⁴⁾ので札内川の最上流部は降水の影響によるものと思われるが、これ以外の地点で高くなっているのは、河川中の土壌等から付加されているものと考えられる。石川は上流から下流にかけて値は小さくなっているが、中流域の水田・畑地では値がやはり僅かに高くなっている。この理由も農地の肥料の影響と考えられる。

6. 安定同位体比

(1) 酸素・水素

酸素および水素の同位体比は平均標準海水を標準物質とし、それとの千分率偏差として式(2)のように表現される。

$$\delta^{18}\text{O}, \delta D = \frac{R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} \times 1000 \quad (2)$$

ここに、 R_{sample} ：試料水の同位体比、 R_{standard} ：標準物質の同位体比である。

地球規模で見た場合、降水によって涵養される地表水の酸素同位体比と水素同位体比の関係は式(3-a)のように表される⁵⁾。

$$\delta D = 8\delta^{18}\text{O} + 10 \quad (3-a)$$

しかし、流域によって、また水の起源によって切片が異なるため、一般には式(3-b)のように表す⁶⁾。

$$\delta D = 8\delta^{18}\text{O} + d \quad (3-b)$$

d 値は水蒸気団の生成時の蒸発速度によって決まると言えられおり、蒸発速度が速い場合、 d 値は大きくなり、遅い場合は小さくなる⁷⁾。札内川流域と石川流域の $\delta^{18}\text{O}$ と δD の関係を図-9に示す⁸⁾。両流域の d 値の範囲は石川では $d=12\sim15.8$ 、札内川では $d=15.3\sim20.4$ である。札内川の方が蒸発速度の速い気団が供給源であることを示す。また、札内川は石川に比べ両 δ 値が小さく、重い同位体が相対的に少ない。これは水蒸気が凝縮するときの温度による同位体効果と考えられる。海水が蒸発して生成した水蒸気は海水に比べ軽い同位体に富み、その水蒸気が極値の方へ移動しながら凝縮し降水を降らせる。この水蒸気の δD 、 $\delta^{18}\text{O}$ 値は連続的に小さくなっている、高緯度になるにつれ δ 値の小さい降水が地表に供給されることになる。Yurtsever (1975) は緯度による $\delta^{18}\text{O}$ 値の変化を北アメリカの測定値をもとに、 $-0.5\text{‰}/\text{度}$ と報告している⁹⁾。札内川流域と石川流域の $\delta^{18}\text{O}$ 値の平均がそれぞれ -12.6‰ (札内川)、 -8.5‰ (石川)であり、緯度は約8度の差がある。つまり、1度あたり -0.5‰ の変化があり、同様の結果が得られた。

(2) 硫黄

硫黄は、大気圏、海洋、海洋地核、堆積岩などの岩石類、河川水中などに広く分布している。海洋中の硫黄同位体比は概ね一定で約20%である。石川と札内川の硫黄同位体比と硫酸の濃縮係数の関係を図-10に示す。石川のデータは1998年1月のものである。石川流域では、最上流域で硫黄同位体比が低く、下流域では高い。また、濃縮係数が高くなると、硫黄の同位体比が小さくなる傾向がある。これは、他の起源の硫黄が混入するに伴って、硫黄の同位体比を小さくしたものと考えられる。石川上流部の硫酸イオン濃度は、領家複合岩類の河川水よりも和泉層群の河川水の方が高い。このことから、和泉層群の地層中の硫黄が河川水の硫酸イオンの起源と考えられる。

札内川は、硫酸イオンの濃縮係数が変化しても硫黄の同位体比はほとんど変化をしない。

7. 結論

宅地化が進み、人口が急激に増加している石川流域と、住宅地等の影響が少ないとと思われる札内川流域について土地利用形態を考慮して河川水質の比較を行った。主要な結論を以下に示す。

- (1) 石川は札内川に比べて半分程度の年流出率である。札内川は農地河川であると共に融雪の影響が大きいと思われる。
- (2) 札内川では中流域の農地において河川水には硝酸イオンに富んでおり、硝酸イオンの単位面積負荷量は札内川の方が石川に比べてやや高い値を示した。これは、畑地が多いので施肥等の影響が強いものと考えられる。硝酸イオンは農地（牧草地等）河川の指標として考えられる。
- (3) 塩素イオン濃度は、石川の住宅地において著しい増加が見られた。これは、石川流域の人口が札内川流域の約12倍で、塩素イオンが人為的な影響を受け易いことが示された。塩素イオンは生活排水等の影響の指標として考えられる。
- (4) カルシウムイオンの濃縮係数によると札内川の中流域の農地において値が高い。石川は上流から下流にかけて値は小さくなっているが、中流域の農地で高くなっている。
- (5) 酸素・水素同位体比の関係より札内川の方が蒸発速度の速い気団が供給源となっていることが推定された。さらに、両流域の比較によって酸素同位体比の緯度効果が確認された。硫黄同位体比からは、石川流域の和泉

層群地層の硫黄が河川水の硫酸イオンの起源と考えられる。札内川では、硫酸イオンの濃縮係数が変化しても硫黄の同位体比は変化しなかった。

参考文献

- 1) 平成10年度石川総合水質保全対策研究業務報告書、土木学会、1999。
- 2) 長谷部正彦、平田健正、井伊博行、坂本康、江種伸之、衆川高徳、西山幸治、齊藤信彦、生天目実一：石川流域における水循環調査について、土木学会水工学論文集、第42巻、307-312、1998。
- 3) 平田健正、井伊博行、長谷部正彦、江種伸之、坂本康、衆川高徳、西山幸治、酒井信行、岩崎宏和：土地利用特性の河川水質に及ぼす影響—大阪府石川流域—、土木学会論文集、No.614//II-46、97-107、1999。
- 4) 多賀光彦、那須淑子：地球の化学と環境、三共出版、1994。
- 5) Craig H.: Isotopic variations in meteoric water, Science, 133, 1702-1703, 1961.
- 6) Dansgaard, W.: Stable isotopes in precipitation., Tellus, 16, 436-468, 1964.
- 7) 中井信之、清棲保弘、水谷義彦：安定同位体による流域の比較研究—降水・河川水・地下水の同位体比—、比較河川学の研究、文部省科学研究費特定研究(1)研究成果報告書、203-234、1987。
- 8) 井伊博行、平田健正、長谷部正彦、江種伸之、坂本康、衆川高徳、西山幸治、酒井信行、堀井壯夫：環境同位体からみた石川流域の河川水と地下水の水質について、土木学会水工論文集、第43巻、205-210、1999。
- 9) Yurtsever, Y.: Worldwide survey of stable isotopes in precipitation., Rep. Sect. Isotope Hydrol., IAEA, Nov., 1975.

(1999.11.19 受付)

COMPARISON OF THE WATER CHEMISTRY IN THE RIVER BASIN OF DIFFERENT LAND USE AND GEOLOGIC STRUCTURE

- THE SATSUNAI AND ISHIKAWA RIVER BASIN -

Masahiko HASEBE, Tomomi KATO, Takanori KUMEKAWA, Tatemasu HIRATA,

Hiroyuki II, Nobuyuki EGUSA and Yasushi SAKAMOTO

It is important that it makes clear the cyclic process of water and water balance for the river basin. However water quality was changed by types of land use and geologic structure. In this study, we have compared the water chemistry of the Ishikawa river which land for housing makes rapid progress, with that of the Satsunai river which there are almost agricultural land. In the Satsunai river, the NO_3^- concentration found in the middle stream water of farmland were thought to have come from fertilizer. The Cl^- concentration is influenced the difference of population in the river basin. By analysis of oxygen and hydrogen isotopic ratios, the effect of geographic latitude is confirmed by comparing the Ishikawa river basin with the Satsunai river.